

# 相対論プラズマ膨張によるイオン加速 Relativistic plasma expansion into vacuum

田底紀美, S-M.Weng, 村上匡且  
Norimi TASOKO, S-M.Weng, Masakatsu MURAKAMI

大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 〒565-0871 吹田市山田丘2-6  
Institute of Laser Engineering, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan

真空中に高エネルギーのプラズマをおくとプラズマ膨張が生じる。この現象は長い間研究されており、その自己相似解としてGrevichの自己相似解がよく知られている。最近では高強度のレーザーが開発され、相対論領域での現象も考える必要が生じてきた。そこで今回は相対論領域まで考慮にいたしたプラズマ膨張における自己相似解について考察する。

1次元のプラズマ平板を考える。  $t=0$  においてプラズマは  $x < 0$  に存在しているとし、イオンは低温で電子温度  $T_e$  は空間的にも時間的にも一定としボルツマン分布に従っているとす。連続の式と運動量保存則より

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial(nv)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + v \frac{\partial p}{\partial x} = -Ze \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

また、イオン速度  $v$  と運動量  $p$  との関係は  $v = cp / \sqrt{(mc)^2 + p^2}$  で表すことが出来る。ここでの  $n$  は数密度,  $Z$  はイオン価数,  $m$  はイオンの質量,  $c$  は光速である。  $\xi = x/ct$  として自己相似解を求めると、イオンのエネルギースペクトルは

$$\frac{dN}{d\varepsilon_k} = \frac{n_0 t}{mc} \left( \frac{3\tilde{c}_s}{2(1+\tilde{p}^2)^{5/4}} + \frac{1}{\tilde{p}(1+\tilde{p}^2)} \right) \exp \left[ -\frac{\tilde{p}}{\tilde{c}_s} F(\tilde{p}) \right], \quad (1)$$

$$= \begin{cases} \frac{n_0 c_s t}{\varepsilon_0} \frac{\exp(-\sqrt{\varepsilon_k/\varepsilon_0})}{\sqrt{\varepsilon_k/\varepsilon_0}} & \tilde{p} \ll 1, \\ \frac{3n_0 c_s t \exp(-a_0/\tilde{c}_s)}{2\varepsilon_1 (\varepsilon_k/\varepsilon_1)^{5/2}} & \tilde{p} \gg 1. \end{cases} \quad (2)$$

$$(3)$$

と表すことが出来る。ここで  $F$  は超幾何関数で  $c_s = (ZT_e/m)^{1/2}$ ,  $\tilde{c}_s = c_s/c$ ,  $\varepsilon_0 = mc^2/2$ ,  $\varepsilon_1 = mc^2$ ,  $\varepsilon_k = mc^2(\sqrt{1+\tilde{p}^2}-1)$ ,  $a_0 = \sqrt{\pi}\Gamma(1/4)/2\Gamma(3/4) \approx 2.622$  である。(3)式が相対論的極限における解である。この式をそれぞれグラフ化したものが 図1 である。(a), (b) はそれぞれ  $T_e$  を 100keV, 10MeV とした。グラフから見て分かるように  $T_e$  が低温

でかつ  $\tilde{p} \ll 1$  に近づくほど 式(2) に近づき,  $T_e$  が高温でかつ  $\tilde{p} \gg 1$  に近づくほど、解は 式(3) に近づく。

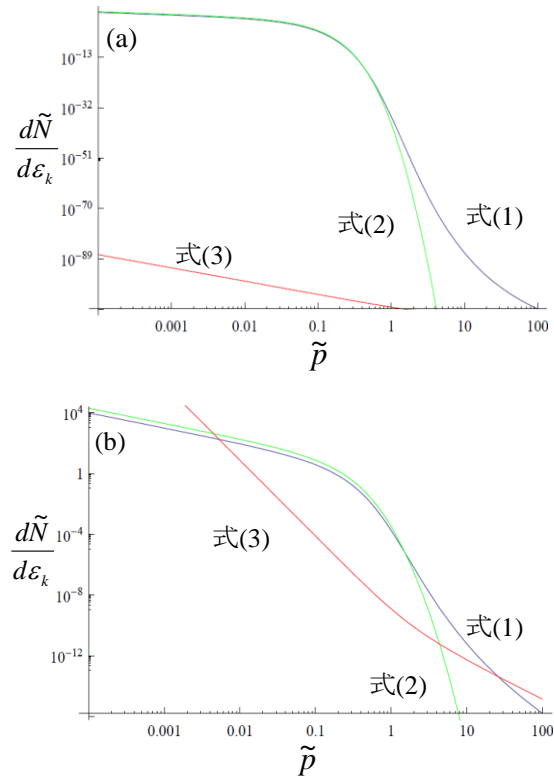


図1:イオンの運動エネルギースペクトル。横軸はイオンの運動量, 縦軸はイオンのエネルギースペクトルを規格化したもの。グラフ上の青, 緑, 赤線はそれぞれ 式(1), (2), (3)であり, (a), (b) はそれぞれ電子温度が 100keV, 10MeV の場合である。

本講演ではさらに式を展開することでイオンの最大エネルギーを数式として求め、粒子シミュレーションによってこの理論が正しいことを確かめることとする。